|  |  |
| --- | --- |
| ICS |  |
| CCS | 点击此处添加CCS号 |

|  |
| --- |
|  |

陕西省地方标准

DB /T XXXX—XXXX

低渗透油藏内源微生物激活驱油技术规范

Technical specification for the laboratory study and effect evalutaion on the activation and oil displacement of the indigenous microbes in low-permeability reserviors

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

       发布

目次

[前言 III](#_Toc157419136)

[1 范围 1](#_Toc157419137)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc157419138)

[3 术语和定义 1](#_Toc157419139)

[4 油藏适用范围 2](#_Toc157419140)

[5 油藏适用性评价 2](#_Toc157419141)

[5.1 油藏物性分析 2](#_Toc157419142)

[5.1.1 油藏岩性 2](#_Toc157419143)

[5.1.2 油藏温度 2](#_Toc157419144)

[5.1.3 油藏渗透率 2](#_Toc157419145)

[5.2 地层水分析 2](#_Toc157419146)

[5.2.1 地层水pH值 2](#_Toc157419147)

[5.2.2 地层水矿化度 2](#_Toc157419148)

[5.2.3 地层水烃氧化菌浓度 2](#_Toc157419149)

[5.2.4 地层水甲烷产生菌浓度 2](#_Toc157419150)

[5.3 环境要求油藏适应性分析 2](#_Toc157419151)

[6 内源微生物激活 3](#_Toc157419152)

[6.1 内源微生物有氧激活 3](#_Toc157419153)

[6.1.1 有氧激活方法 3](#_Toc157419154)

[6.1.2 有氧激活监测 3](#_Toc157419155)

[6.1.3 有氧激活评价 3](#_Toc157419156)

[6.2 内源微生物无氧激活 3](#_Toc157419157)

[6.2.1 无氧激活方法 3](#_Toc157419158)

[6.2.2 无氧激活监测 3](#_Toc157419159)

[6.2.3 无氧激活评价 4](#_Toc157419160)

[7 内源微生物激活剂筛选 4](#_Toc157419161)

[7.1 注入水分析 4](#_Toc157419162)

[7.1.1 注入水水质要求 4](#_Toc157419163)

[7.1.2 注入水初始总菌 4](#_Toc157419164)

[7.1.3 注入水pH值 4](#_Toc157419165)

[7.1.4 注入水悬浮物 4](#_Toc157419166)

[7.2 地层水分析 5](#_Toc157419167)

[7.2.1 矿化度 5](#_Toc157419168)

[7.2.2 pH值 5](#_Toc157419169)

[7.2.3 营养成分 5](#_Toc157419170)

[7.2.4 油藏微生物群落分析 5](#_Toc157419171)

[7.3 激活剂筛选 5](#_Toc157419172)

[7.3.1 碳源、氮源、磷源种类 5](#_Toc157419173)

[7.3.2 碳源、氮源、磷源浓度 5](#_Toc157419174)

[7.3.3 筛选指标 5](#_Toc157419175)

[7.3.4 筛选指标测定方法 6](#_Toc157419176)

[8 内源微生物驱油 6](#_Toc157419177)

[附录A （规范性） 油藏产出液及内源微生物激活体系中C2～C4挥发性脂肪酸浓度测试 7](#_Toc157419178)

[A.1 测定原理 7](#_Toc157419179)

[A.2 仪器 7](#_Toc157419180)

[A.3 试剂和材料 7](#_Toc157419181)

[A.4 试验步骤 7](#_Toc157419182)

[A.4.1 标准液配制 7](#_Toc157419183)

[A.4.2 待测样品预处理 7](#_Toc157419184)

[A.4.3 色谱分析 7](#_Toc157419185)

[A.4.3.1 标准样品色谱分析 7](#_Toc157419186)

[A.4.3.2 待测样品色谱分析 7](#_Toc157419187)

[A.4.3.3 试验结果分析 7](#_Toc157419188)

[附录B （规范性） 内源微生物激活物理模拟驱油剂效果评价 9](#_Toc157419189)

[B.1 试验装置 9](#_Toc157419190)

[B.1.1 驱替试验装置 9](#_Toc157419191)

[B.1.2 岩心饱和装置 9](#_Toc157419192)

[B.2 试验材料 9](#_Toc157419193)

[B.2.1 试验用水 9](#_Toc157419194)

[B.2.2 试验用油 9](#_Toc157419195)

[B.2.3 试验用岩心 9](#_Toc157419196)

[B.3 试验程序 9](#_Toc157419197)

[B.3.1 饱和地层水 9](#_Toc157419198)

[B.3.2 饱和油 10](#_Toc157419199)

[B.3.3 一次水驱 10](#_Toc157419200)

[B.3.4 内源微生物激活及驱油 11](#_Toc157419201)

[B.3.5 二次水驱 11](#_Toc157419202)

[B.4 驱油效果评价 11](#_Toc157419203)

1. 前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由陕西延长石油（集团）有限责任公司提出。

本文件由陕西省人民政府国有资产监督管理委员会归口。

本文件起草单位：陕西延长石油（集团）有限责任公司、西安石油大学、西安交通大学、陕西化工研究院有限公司、西安邦希化工有限公司。

本文件主要起草人：倪军、魏登峰、高怡文、王维波、江绍静、金志、赵丽、薛媛、康宵瑜、方晓君、王成俊、崔凯、武思拓、张永欣、王锰、管雅倩。

本标准首次发布。

联系方式如下：

联 系 人：高怡文

联系方式：13991105578

邮 箱：[371688676@qq.com](mailto:371688676@qq.com)

单 位：陕西延长石油（集团）有限责任公司

联系地址：西安市雁塔区唐延路61号

邮 编：710065

低渗透油藏内源微生物激活驱油技术室内实验及评价技术规范

* 1. 范围

本标准规定了内源微生物激活驱油的术语与定义、油藏适用范围、油藏适应性评价、内源微生物激活、激活剂筛选、内源微生物激活驱油等技术要点。

本标准适用于低渗透砂岩油藏开展内源微生物激活驱油技术研究。

* 1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 609-2018 化学试剂总氮量测定通用方法

GB/T 6920-1986 水质pH值的测定 玻璃电极法

GB/T 11893-1989 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法

GB/T 29172-2012 岩心分析方法

SY/T 0532-2012 油田注入水细菌分析方法 绝迹稀释法

SY/T 5329-2012 碎屑岩油藏注入水水质指标及分析方法

SY/T 5370-2018 表面及界面张力测定方法

SY/T 5523-2016 油田水分析方法

SY/T 5579.1-2008 油藏描述方法第1部分：总则

SY/T 6888-2012 微生物驱油技术规范

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

油藏内源驱油功能微生物 reservoir indigenous function microbe for microbial flooding

油藏中长期稳定存在，并能在油藏环境中生长，繁殖和代谢，其生物活动和代谢产物可提高采收率的微生物。

激活剂 activator

能选择性促进油藏中特定驱油功能菌生长、代谢和繁殖的生化制剂。

内源微生物激活驱油 indigenous microbial flooding

通过向油藏注入适当的激活剂，选择性地激活油藏中驱油功能微生物群落，使其迅速生长繁殖以实现驱油效果。

* 1. 油藏适用范围

低渗透油藏内源微生物激活驱油的油藏适用范围指标包括油藏岩性、油藏温度、油藏渗透率、地层水pH值、地层水矿化度、地层水烃氧化菌和甲烷产生菌浓度。油藏适用范围见表1。

1. 低渗透油藏内源微生物激活驱油油藏适用范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 油藏  岩性 | 油藏温度  ℃ | 油藏渗透率  10-3μm | 地层水pH值 | 地层水  矿化度  mg/L | 钙镁二价离子  含量  mg/L | 地层水  烃氧化菌浓度  cfu/mL | 地层水  甲烷产生菌浓度  cfu/mL |
| 砂岩 | 30～65 | 10～50 | 6.0～8.0 | ≤200000 | ≤10000 | ≥102 | ≥10 |

* 1. 油藏适用性评价
     1. 油藏物性分析
        1. 油藏岩性

油藏岩性分析按SY/T 5579.1-2008中的6.4.1的规定执行。

* + - 1. 油藏温度

油藏温度分析按SY/T 5579.1-2008中的6.6.1的规定执行。

* + - 1. 油藏渗透率

油藏渗透率分析按SY/T 5579.1-2008中的6.4.5.2的规定执行。

* + 1. 地层水分析
       1. 地层水pH值

地层水pH值分析按SY/T 5523-2016中的5.2.26的规定执行。

* + - 1. 地层水矿化度

地层水矿化度分析按SY/T 5523-2016中的6.3的规定执行。

* + - 1. 地层水烃氧化菌浓度

地层水烃氧化菌浓度分析按SY/T 6888-2012中附录A的规定执行。

* + - 1. 地层水甲烷产生菌浓度

地层水甲烷产生菌浓度按按SY/T 6888-2012中附录A的规定执行。

* + 1. 环境要求油藏适应性分析

根据5.1中油藏物性分析与5.2中地层水性质分析结果，参照低渗透油藏内源微生物激活驱油油藏适用范围，评价油藏适应性。

* 1. 内源微生物激活
     1. 内源微生物有氧激活
        1. 有氧激活方法

将内源微生物激活剂、地层水按照1:9体积比混合，置于三角瓶中，于磁力搅拌器上搅拌均匀，加入质量百分比为1%的原油，在恒温振荡器中于地层温度下，转速为180rpm条件下摇动培养7天。

* + - 1. 有氧激活监测

有氧激活第3天、第7天时，分析有氧激活体系中烃氧化菌浓度。烃氧化菌度测试方法按SY/T6888-2012中附录A的规定执行。

有氧激活第3天、第7天时，分析有氧激活体系表面张力。有氧激活体系表面张力测试方法按SY/T5370-2018的规定执行。

有氧激活第3天、第7天时，分析有氧激活体系的乙酸浓度。乙酸浓度检测方法按附录A的规定执行。

* + - 1. 有氧激活评价

根据6.1.2.1中烃氧化菌浓度、6.1.2.2中激活体系表面张力和6.1.2.3中激活体系乙酸浓度分析结果，评价有氧激活有效性。具体评价指标和范围见表2。

1. 低渗透油藏内源微生物有氧激活驱油有效性评价指标

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 指标 |
| 烃氧化菌浓度 | 增加至初始值的100倍以上 |
| 激活体系表面张力（mN/m） | 降低至初始值的50%以下 |
| 激活体系乙酸浓度 | 增加至初始值的10倍以上 |

* + 1. 内源微生物无氧激活
       1. 无氧激活方法

将内源微生物激活剂、地层水按照1:9体积比混合，置于三角瓶中，于磁力搅拌器上搅拌均匀，加入质量百分比为1%的原油，在恒温振荡器中于地层温度下，转速为180rpm条件下摇动培养7天。

* + - 1. 无氧激活监测

无氧激活第3天、第10天时，分析无氧激活体系中甲烷产生菌浓度。甲烷产生菌浓度测试方法按SY/T6888-2012中附录A的规定执行。

无氧激活第3天、第10天时，分析无氧激活体系中C2～C4挥发性脂肪酸浓度。C2～C4挥发性脂肪酸浓度测试方法见附录A。

无氧激活第10天时，观察并评价无氧激活体系中原油乳化效果。原油乳化评价方法见表3。

1. 低渗透油藏内源微生物无氧激活体系原油乳化效果评分

|  |  |
| --- | --- |
| 分值 | 指标 |
| 0 | 无效。油水分层明显，下层水相清澈，摇晃后油珠颗粒大小与激活前一致。 |
| 1 | 见效。摇晃后油水少量互溶，油珠颗粒较激活前小；或者油相体积明显增加。 |
| 2 | 效果较好。摇晃后油水能够部分互溶，下层水相颜色加深，油珠颗粒较激活前小。 |
| 3 | 效果好。摇晃后油水能够部分混溶，两相分层较慢。下层水相颜色为褐色或黄褐色，油珠颗粒直径为1～2mm。 |
| 4 | 效果很好。摇晃后油水大部分混溶，两相分层更慢。下层水相为深褐色。 |
| 5 | 效果最好。轻微摇晃后油水完全混溶，油水分界线不明显或无油水分界线。混相后，静止较长时间不分层，油相为细末状，颜色为土黄色，原油不沾壁。 |

* + - 1. 无氧激活评价

根据6.2.2.1中甲烷产生菌浓度、6.2.2.2中C2～C4挥发性脂肪酸浓度和6.2.2.3中原油乳化分析结果，评价无氧激活有效性。具体评价指标和范围见表4。

1. 低渗透油藏内源微生物无氧激活有效性评价指标

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 指标 |
| 甲烷产生菌浓度(cfu/mL) | 增加至初始值的100倍以上 |
| C2～C4挥发性脂肪酸浓度 | 增加至初始值的3倍以上 |
| 乳化效果评分 | ≥3分 |

* 1. 内源微生物激活剂筛选
     1. 注入水分析
        1. 注入水水质要求

注入水水质要求指标包括初始总菌浓度、pH值、悬浮固体含量、悬浮物颗粒直径中值。注入水水质要求范围见表5。

1. 低渗透油藏内源微生物激活驱油用水水质要求范围

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 初始总菌浓度  cfu/mL | pH值 | 悬浮固体含量  mg/L | 悬浮物颗粒直径中值  μm |
| ≥103 | 7.0～8.0 | ≤20 | ≤10 |

* + - 1. 注入水初始总菌

注入水初始总菌浓度分析按SY/T 0532-2012的规定执行。

* + - 1. 注入水pH值

注入水pH值按SY/T 5523-2016中的5.2.26的规定执行。

* + - 1. 注入水悬浮物

注入水悬浮固体含量分析按SY/T 0532-2012中5.2.31的规定执行。

注入水悬浮物颗粒直径中值分析按SY/T 5329-2012中5.3的规定执行。

* + 1. 地层水分析
       1. 矿化度

矿化度测试方法按SY/T 5523-2016的规定执行。

* + - 1. pH值

同5.2.1。

* + - 1. 营养成分

采用纳氏试剂比色法测定总氮含量，实验方法按GB/T 609中的规定执行。

采用钼酸铵分光光度法测定总磷含量，实验方法按GB/T 11893的规定执行。

* + - 1. 油藏微生物群落分析

烃氧化菌浓度按SY/T6888-2012中附录A的规定执行。

甲烷产生菌浓度分析按SY/T6888-2012中附录A的规定执行。

硫酸盐还原菌浓度分析按按SY/T 0532-2012的规定执行。

* + 1. 激活剂筛选
       1. 碳源、氮源、磷源种类

根据6.1和6.2所述实验方法，筛选激活剂碳源、氮源、磷源种类。

* + - 1. 碳源、氮源、磷源浓度

根据6.1和6.2所述实验方法，筛选激活剂碳源、氮源、磷源浓度。

* + - 1. 筛选指标

筛选指标为pH值、与地层水和注入水配伍性、激活体系烃氧化菌浓度、甲烷产生菌浓度、硫酸盐

还原菌浓度、激活体系表面张力和原油乳化效果。具体见表6。

1. 油藏内源微生物激活剂的主要筛选指标

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 指标 |
| pH值 | 6.0～8.0 |
| 与地层水和注入水的配伍性 （表象观测） | 无沉淀 |
| 烃氧化菌浓度 (cfu/mL) | ≥106 |
| 甲烷产生菌浓度(cfu/mL) | ≥104 |
| 硫酸盐还原菌浓度(个/mL) | 不增加 |
| 激活体系表面张力（mN/m） | < 30 |
| 原油乳化效果评分 | ≥3 |

* + - 1. 筛选指标测定方法

pH值测定方法同5.2.1。

将激活剂分别与地层水、注入水按照1:1、1:10、1:100比例混匀，进行表象观测，观察有无沉淀产生。

烃氧化菌、硝酸盐还原菌和产甲烷菌浓度测定方法按SY/T 6888-2012中附录A的规定执行。

硫酸盐还原菌浓度测定方法按SY/T 0532-2012的规定执行。

激活体系表面张力测定方法按SY/T 5370的规定执行。

原油乳化效果测定方法见表3。

* 1. 内源微生物驱油

进行低渗透油藏内源微生物激活物理模拟驱油试验。物理模拟试验装置、试验程序、试验参数及驱油效果评价方法按附录B执行。物理模拟试验中，内源微生物激活后提高驱油效率增加幅度大于10%，则可以实施内源微生物驱油矿场先导试验。

2. （规范性）  
   油藏产出液及内源微生物激活体系中C2～C4挥发性脂肪酸浓度测试
   1. 测定原理

C2～C4挥发性脂肪酸浓度测试采用外标法将被测样品与标准样品分别进行气相色谱分析，得到C2～C4挥发性脂肪酸浓度。

* 1. 仪器

气相色谱仪：带FID检测器和色谱工作站。

微量自动移液器：10μL，10mL。

玻璃注射器：1mL，2mL。

色谱填充柱：葵二酸，聚二乙烯苯多孔微球，GDX103，硅硼玻璃管和不锈钢管; 柱长0.5～1m，柱内径2～3mm。

容量瓶：100mL。

聚四氟滴定管：25mL。

* 1. 试剂和材料

乙酸（AR）, 丙酸（AR），丁酸（AR）、重整水。

* 1. 试验步骤
     1. 标准液配制

称取分析纯乙酸1.01g，用蒸馏水稀释至100mL，混匀，溶液中乙酸含量为10mg /mL。吸取10mg/mL乙酸标准溶液 0.1mL、0.2mL、0.4mL、0.8mL、1.0mL、2.0mL、4.0mL、8.0mL于加入蒸馏水30mL的100mL容量瓶中，混匀，配制标准溶液中乙酸含量分别为10mg/L、20mg/L、40mg/L、80mg/L、100mg/L、200mg/L、400mg/L、800mg/L。以上述方法配制丙酸标准溶液和丁酸标准溶液。

* + 1. 待测样品预处理

称取7mL样品加入2滴6mol/L H2SO4使pH值降至3.5左右，以10000r/min转速，离心20～30 min，取上层透明清液，用0.45μm微孔滤膜过滤，滤液滴加浓甲酸，最终pH值为2.0。

* + 1. 色谱分析
       1. 标准样品色谱分析

将标准溶液在色谱和顶空条件下进样，以峰面积外标法定量，用色谱软件建立色谱方法和标准曲线。

* + - 1. 待测样品色谱分析

将预处理后的待测样品置于顶空进样瓶中，在于标准样品相同的条件下自动进样色谱分析。

* + - 1. 试验结果分析

打开气相色谱工作站中得到的待测样品色谱谱图，加载建立的标准曲线，得出待测样品浓度。

1. （规范性）  
   内源微生物激活物理模拟驱油剂效果评价
   1. 试验装置
      1. 驱替试验装置

含岩心夹持器、中间容器、环压泵、温度控制系统、压力和温度监测系统、油水计量系统、精密注射泵、采出液数据采集系统等。

* + 1. 岩心饱和装置

含真空泵、岩心室、中间容器、压力表、电子天平、柱塞泵等。

* 1. 试验材料
     1. 试验用水

试验用水为注入水、地层水。

* + 1. 试验用油

试验用油为根据地层原油特性，将地面脱水原油与去极性煤油配置成的地层模拟油。

* + 1. 试验用岩心

试验用岩心为天然或人造岩心柱，直径2.5cm或3.8cm，长度为6cm～10cm，渗透率为10x10-3μm～50x10-3μm烘干并编号，测量岩心长度、直径及干重，按GB/T 29172-2012中7.3.1规定的方法测试岩心空气渗透率。存于干燥器中备用。

* 1. 试验程序
     1. 饱和地层水

将岩心放入岩心室中，在-0.1MPa真空度条件下抽真空4h，加入地层水，加压至原始油藏压力，1h

后取出岩心，称重，由岩心干重、湿重以及水的密度，按公式（B.1）和公式（B.2）计算岩心的孔隙体积及孔隙度。

*V*p=..............................................................................（B.1）

公式中：

*V*p –– 岩心孔隙体积，单位为立方厘米（cm3）；

*m*1 – 岩心湿重，单位为克（g）；

*m*2 – 岩心干重，单位为克（g）；

*ρ*水 – 水的密度，单位为克每立方厘米（g/cm3）。

*φ*=×100%.....................................................................................（B.2）

公式中：

*φ* – 岩心孔隙度，用百分数表示；

*V*p– 岩心孔隙体积，单位为立方厘米（cm3）；

*V*b– 岩心总体积，单位为立方厘米（cm3）。

* + 1. 饱和油

将饱和地层水的岩心装入如图B.1所示的驱替装置中，设定试验温度为地层温度，模拟原油驱替地层水过程，至不出水时结束。按公式（B.3）计算含油饱和度。在地层温度下岩心放置老化7天。

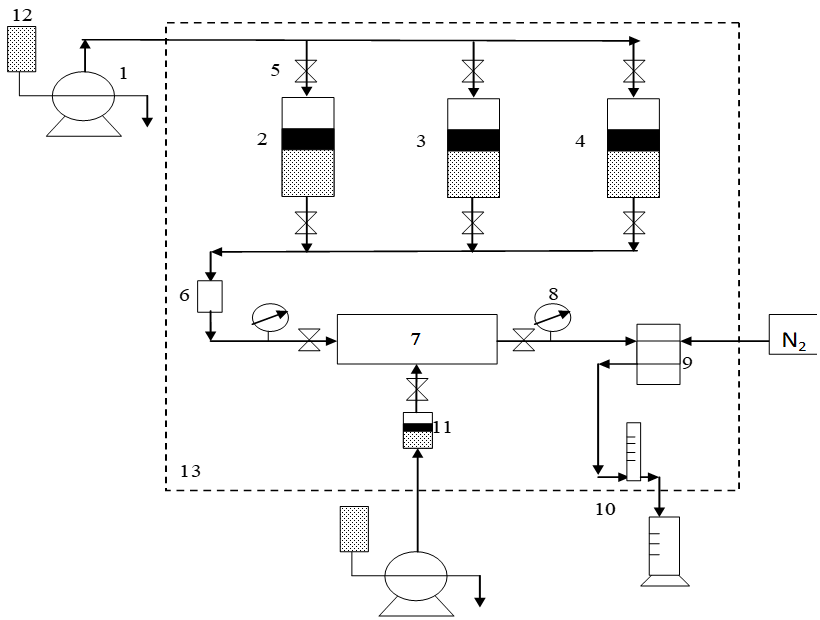
*S0*=×100%....................................................................................（B.3）

公式中：

*S0* – 岩心含油饱和度，用百分数表示；

*V0* – 饱和油总体积，单位为立方厘米（cm3）；

*Vp* – 岩心孔隙体积，单位为立方厘米（cm3）。



1、泵；2、盛模拟油活塞容器；3、盛注入水活塞容器；4、盛靶向激活剂活塞容器；5、阀门；

6、过滤器；7、岩心夹持器；8、压力表；9、回压控制器；10、油水计量装置；11、恒温箱。

图B.1 岩心驱替试验流程示意图

* + 1. 一次水驱

注入水驱油，至采出液含水率达98%，结束水驱油。注入过程中记录注入压力，累积产油量和累积产液量。

* + 1. 内源微生物激活及驱油

注入筛选出的内源微生物靶向激活剂至试验设计体积。注入过程中记录注入压力，累积产油量和累积产液量。注入完成后，在地层温度下岩心放置10天～15天。

* + 1. 二次水驱

注入水驱油，至采出液含水率98%，结束试验。注入过程中记录注入压力，累积产油量和累积产液

量。

* 1. 驱油效果评价

用公式（B.4）和公式（B.5）计算驱油效率（*η*）及驱油效率增加幅度（*PR*）。

*η*=×100%....................................................................................（B.4）

*PR*(%)=*η*终*-η*水....................................................................................（B.5）

公式中：

*V0* – 原始饱和油总体积，单位为毫升（mL）；

*Vx* – 水驱结束或整个驱替试验结束时累积产出油体积，单位为毫升（mL）；

*η终* – 最终驱油效率，用百分数表示；

*η水* – 水驱驱油效率，用百分数表示。

